

CODE 102

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS CROMÁTICAS DEL VIDRIO DE MURANO UTILIZADO EN REVESTIMIENTOS EXTERIORES DE TRENCADÍS

Arias Holguín-Veras, Paloma M.¹; Zamora i Mestre, Joan Lluís²

1: Programa de Doctorado Tecnología de la Arquitectura, de la Edificación y del Urbanismo
Universitat Politècnica de Catalunya
e-mail: paloma.arias@upc.edu

2: LiTA (Laboratori d'innovació i Tecnologia a l'Arquitectura)
Universitat Politècnica de Catalunya
e-mail: joan.lluis.zamora@upc.edu, web: <http://www.lita.upc.edu>

PALABRAS CLAVE: Color; Vidrio de Murano; Smalti; Revestimiento; Trencadís.

RESUMEN

Esta investigación se centra en el análisis de la homogeneidad del color de piezas de vidrio de Murano tipo *Smalti* utilizados para revestimientos exteriores de mosaico con la técnica del trencadís, en el que las labores de restauración exigen substituir las teselas de vidrio, debido a posibles defectos derivados de la exposición a agentes atmosféricos y ambientales.

Para esto se realizó una caracterización de color de 48 muestras de *Smalti* de un mismo fabricante, utilizando un espectrocolorímetro portátil que permitió hacer un catálogo de los colores de referencia producidos actualmente dentro del espacio de color CIELCh, con el objetivo de evaluar la homogeneidad de los colores fabricados de forma artesanal. Posteriormente, se realizó un análisis de la estabilidad de estos colores basándose en una comparación estadística de los resultados obtenidos con el instrumento y se determinó la diferencia de color (ΔE_{94}) entre las dos caras de las piastras, para definir si era un factor a considerar en el momento de la puesta en obra. Se pretende continuar esta caracterización y catalogación con una comparación de los valores obtenidos con los vidrios históricos. El presente estudio aporta un método de análisis del color con un instrumento portátil que permita su posterior utilización in situ en zonas de difícil acceso, y un proceso para la categorización e identificación de colores en materiales no industrializados.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación es parte de una colaboración entre el LiTA (*Laboratorio de Innovación y Tecnología de la Arquitectura*) y una organización privada para obtener mejores resultados en la restauración en curso de revestimientos exteriores de trencadís. El trencadís es un revestimiento que se compone de pequeñas piezas de materiales, cortadas de forma irregular, como la cerámica esmaltada, el mármol o la pasta de vidrio entre otros, dispuestas aleatoriamente sobre una capa de mortero [1] para revestir motivos arquitectónicos tridimensionales. Diferenciándose del mosaico tradicional por el uso arbitrario de las piezas con formas irregulares, por solucionar el revestimiento de superficies tridimensionales y porque permite adaptarse con mayor facilidad a superficies curvas. (Figura 1)

El objetivo principal de esta investigación es asegurar, en trabajos de restauración por sustitución, la selección de teselas de color lo más similar posible al vidrio que se desea substituir. El color es uno de los principales atributos visuales de los objetos que nos rodean. Su especificación numérica precisa es

cada vez más necesaria, por ejemplo, en trabajos de restauración [2]. El estudio del color en procesos de restauración de revestimientos en edificios monumentales o patrimoniales es una herramienta que permite asegurar que los nuevos materiales mantengan características cromáticas similares a los materiales que se deben sustituir, también es útil para comprobar que materiales de conformación artesanal cumplan estándares de estabilidad de color exigibles en proyectos de gran escala. El color del vidrio en este trabajo es especialmente importante porque este *trencadís* es una característica relevante de la estética y composición del edificio a restaurar que se halla clasificado como Patrimonio de la Humanidad y Bien de Interés Cultural, y la singularidad del vidrio de Murano *Smalti* se debe a que aún se elabora de forma artesanal con las técnicas que emplea la fábrica desde el siglo XIX. El catálogo de la empresa que ha suministrado las referencias analizadas cuenta con una extensión de centenares de colores que abarcan casi todas las tonalidades



Figura 1. Ejemplo de *trencadís* con teselas de Vidrio de Murano tipo *smalti*, probeta para ensayos del LiTA (izquierda). Las 48 referencias de vidrio analizadas en este trabajo (centro).

Existen miles de colores, por esto se caracterizaron y catalogaron los colores de diversas muestras, de un catálogo del propio fabricante, del material utilizando con uno de los espacios de color tridimensional definidos por la *Commission Internationale d'Eclairage* (Comisión Internacional de la Iluminación) denominado CIE $L^*a^*b^*$, cuyos valores se obtuvieron con el uso de un espectrocolorímetro digital, según los parámetros establecidos en la normativa *UNE-EN 15886:2010 de Conservación del Patrimonio Cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies*. Posteriormente se identificó la estabilidad y homogeneidad de las series de vidrios disponibles de cada color, utilizando medidas estadísticas de dispersión y se definió finalmente la tolerancia aceptable ante la variación de cada color dentro de la pieza.

Si este procedimiento de caracterización del color se demuestra como práctico, asequible y fiable, se propone aplicar esta metodología para la selección en el taller artesano de vidrio aquellas piezas que mejor se ajustan a las especificaciones de color del revestimiento que se quiere restaurar.

2. EL MATERIAL

En este trabajo las teselas del *trencadís* se cortaron a partir de piezas de vidrio opalino, denominado *Smalti*. En el mundo de los mosaicos, *smalti* indica un vidrio brillante, opaco, de color con alto contenido de plomo, generalmente preparado añadiendo material cristalino (*corpo*) y cristales de color (*anima*) a un vidrio transparente fundido [3]. Se pueden encontrar una amplia gama de colores y matices de este material según el catálogo de cada fabricante.

Los agentes colorantes tradicionales para el vidrio transparente son un número limitado de iones metálicos que, al absorber parte de la luz incidente, dan lugar a coloración. El color depende de la naturaleza del ion, su estado de oxidación y de la composición del vidrio en el que se funde [4].

Se utilizaron 48 muestras de vidrio, facilitadas por los talleres de fabricación, de aproximadamente 8x8 cm, cada una de un color diferente e identificadas según el código del catálogo del fabricante. Estos códigos se componen de una letra y 4 números, las letras hacen referencia al tipo de *smalti*, diferenciándolos en: O: *Smalti* Ordinario, F: *Smalti* Fino, C: Piel, S: Especial, I: Imperial, M: Mate, T: Transparente, G: Oro, y los números a continuación identifican el color. Las 48 muestras

caracterizadas correspondían en número a las categorías de 1 Piel (C), 6 *Smalti* Fino (F), 9 Especial (S), 13 Imperial (I), 19 *Smalti* Ordinario (O). A forma orientativa se pueden clasificar por color como: 1 Blanca y 1 Lila, 2 Rosa, 6 Amarillas, 7 Naranja, 7 Rojas, 10 Azules y 14 Verdes.

Tabla 1. Clasificación de los vidrios con el código comercial del fabricante y el color orientativo de las 48 muestras utilizadas.

Código	Color	Código	Color	Código	Color	Código	Color	Código	Color	Código	Color
O 2030		O 2160		O 2310		I 2961		S 2440		S 1390	
O 2040		O 2200		F 2750		I 2960		I 1770		I 1500	
O 2050		O 4740		F 2740		I 2951		I 4260		I 1560	
O 2060		S 0980		F 2730		I 2940		I 4290		I 2990	
O 2120		S 3020		O 2570		I 2930		O 5290		S 2400	
O 2130		O 2290		O 2550		F 2790		F 2610		S 2420	
O 2140		O 2360		O 2520		F 2770		S 4560		S 2410	
O 2150		O 2320		I 2970		C 1110		I 1720		S 2390	

La cara vista del material se denomina, en este trabajo, Cara 1 y la cara oculta como Cara 2. La diferencia visual (brillo, color, homogeneidad) de las caras es significativa y se debe tomar en consideración al momento de la puesta en obra, ya que puede alterar la apreciación del vidrio con respecto al color y la calidad superficial. En la Cara 2 se aprecian a menudo burbujas, pliegues y marcas de la superficie sobre la que se lamina el vidrio. En la Figura 2 se puede ver como un mismo vidrio en la Cara 1 presenta una superficie más uniforme que en la Cara 2 donde se aprecian burbujas y pliegues.

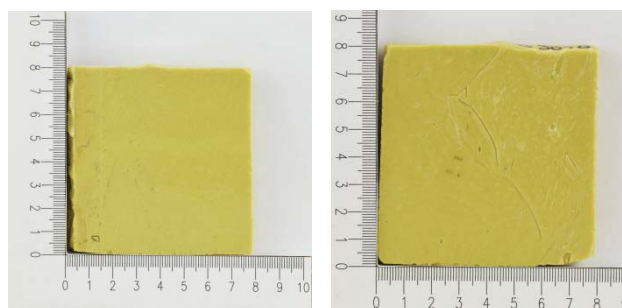


Figura 2. En la izquierda la Cara 1 del vidrio S 3020 y en la derecha la Cara 2 del mismo vidrio donde se aprecian las burbujas y pliegues presentes a menudo en estos vidrios.

Además de estas diferencias en algunos vidrios la diferencia de color entre una cara y otra incluso es evidente a simple vista. Uno de los elementos característicos para identificar la Cara 1 es la franja en los bordes, como resultado del proceso de laminado por el que se obtienen las piastras a partir de masas de vidrio extraídas del crisol de fundición mediante cucharas.

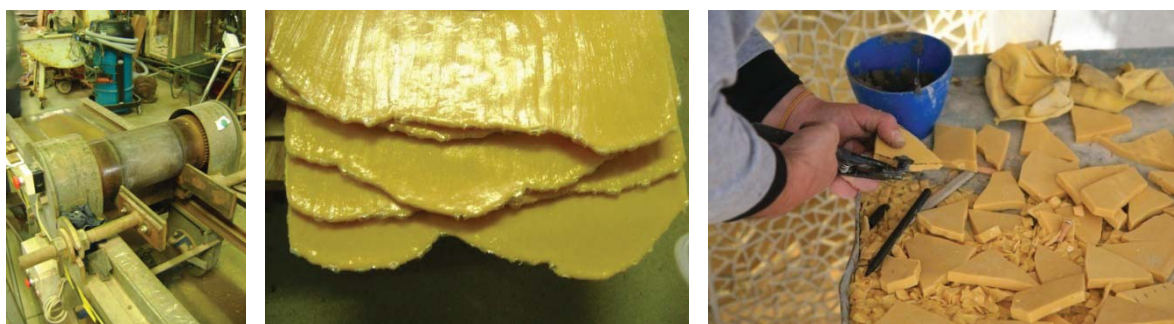


Figura 3. Proceso de laminado de vidrio de Murano Smalti (izquierda). Piastras de vidrio mostradas por la Cara 1 (centro). Proceso de corte manual de vidrio de Murano Smalti para trencadís (derecha).

3. SISTEMAS CIE

Estos sistemas se basan en la determinación del color de una superficie con una cuantificación instrumental del color, expresada numéricamente de acuerdo con los métodos internacionales definidos por la Comisión internacional de iluminación CIE (*Commission internationale de l'éclairage*). Los colores se representan en un espacio cromático, donde cualquier color de la gama visible se define mediante tres coordenadas [5]. Los sistemas de color CIE, utilizan tres coordenadas para ubicar un color en dicho espacio cromático, los subespacios cromáticos incluyen CIE XYZ, CIE $L^*a^*b^*$ y CIE $L^*C^*h^\circ$ [6].

3.1 Sistemas CIE $L^*a^*b^*$ y CIE $L^*C^*h^\circ$

Cuando un color se expresa en CIELAB, la L^* define la claridad o luminosidad, a^* la posición del color dentro de una escala lineal que va del rojo al verde y b^* del amarillo al azul. Donde $L^*=0$ negro, $L^*=100$ blanco, $+a^*=$ tendencia a rojo, $-a^*=$ tendencia a verde, $+b^*=$ tendencia a amarillo, $-b^*=$ tendencia a azul. Mientras CIELAB utiliza coordenadas cartesianas para calcular el color en un espacio el CIELCH emplea coordenadas polares. Esta expresión de color se puede derivar de CIELAB. La L^* define la claridad, C especifica el croma y la h° denota el ángulo en una medición polar [6]. Donde $L^*=0$ negro, $L^*=100$ blanco, $+C^*=$ tendencia a saturado, $-C^*=$ tendencia a opaco, $H\ 90^\circ =$ amarillo, $H\ 0^\circ =$ rojo, $H\ 270^\circ =$ verde, $H\ 180^\circ =$ azul.

3.2 Diferencia de color ΔE

ΔE^* (1) mide la diferencia entre dos colores dentro del espacio $L^*a^*b^*$. Es la distancia geométrica entre sus posiciones en el espacio cromático CIELAB, se calcula aplicando la formula siguiente:[5]

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

Para el presente estudio se utiliza ΔE^*_{94} (2). Esta fórmula modifica la claridad, la croma y el tono ($L^*C^*H^*$) del espacio cromático $L^*a^*b^*$ mediante la incorporación de factores que corrigen la amplitud de la diferencia de color definida [5].

$$\Delta E^*_{94} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{2,1}}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{2,1}}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Los estándares aceptables de ΔE dependen del tipo de industria y de los requerimientos específicos a medir. Entre dos (2) y tres y medio (3,5) se considera una diferencia media, obvia por el ojo no adiestrado. [7] Es importante destacar que hay tonos en los que el ojo humano percibe diferencias de color con mayor facilidad, en los colores saturados el ojo humano identifica las diferencias con más dificultad que en los tonos grises o pálidos.

3.3 Diferencia vs Tolerancia

Se debe entender la diferencia como una comparación numérica entre una muestra y el estándar, o de color de referencia, seleccionado. Se obtiene con las diferentes fórmulas de ΔE . Mientras que la tolerancia son las diferencias de color aceptables definidas por el usuario en base al propósito y exigencia de la aplicación a la cual van destinadas las teselas. La tolerancia para una igualación aceptable de color consiste de un límite tridimensional con límites variables de claridad, matiz y croma y que debe estar de acuerdo con el análisis de color visual [6]. Mientras en valor de la diferencia, o ΔE , es un valor cuantificable, la tolerancia se define por el usuario dependiendo de la aplicación, las necesidades de precisión, el tipo de industria entre otros factores.

4. METODOLOGÍA

4.1 Preparación de las muestras:

Las muestras de vidrio llegaron identificadas con el código del fabricante escrito en un adhesivo o bien directamente escrito sobre el vidrio con marcador negro y/o plateado. El primer paso fue identificar en el canto de las piezas el código del fabricante, luego se removieron los adhesivos y se limpiaron las caras con un paño humedecido con alcohol. El marcador plateado resultó ser más resistente a la limpieza por lo que en algunos casos se optó por no removerlo y en la toma de muestras con el espectrocolorímetro se descarta el cuadrante donde se aparece una mancha de esta naturaleza. Luego de hacer las fotografías se volvió a colocar adhesivos con el código de cada color para mantener la referencia.

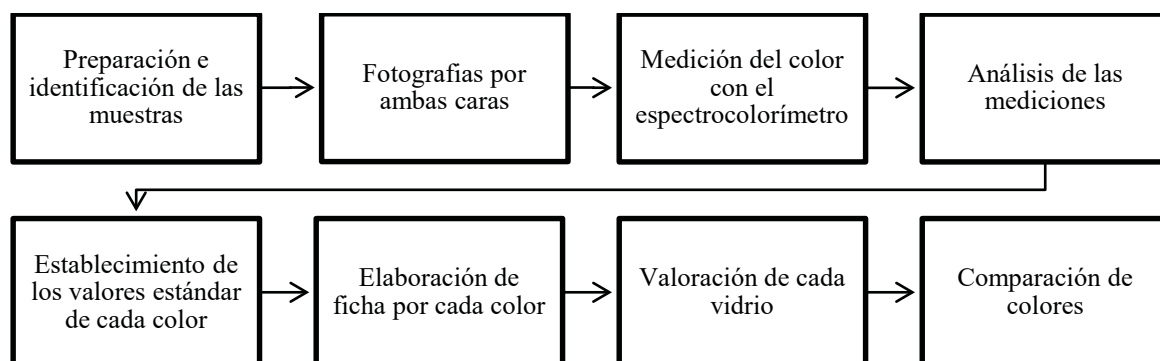


Figura 4. Diagrama del procedimiento realizado en esta investigación.

4.2 Fotografías:

Todas las fotografías se realizaron con una cámara réflex *Nikon D3300* y un objetivo *Sigma 18-200mm f/3.5-6.3 DC Macro* colocados sobre un trípode. Se realizaron todas las fotografías utilizando una base de reproducción con un sistema de iluminación compuesto por dos lámparas, ajustables orientables, cada una equipada con dos bombillas fluorescentes (24 w). A esto se agrega un cubo *softbox* para difuminar la luz logrando así una iluminación homogénea y reduciendo los reflejos sobre la superficie brillante del vidrio. Las fotografías se utilizan como medida de referencia para señalar las mediciones realizadas con el instrumento y para la elaboración de las fichas de cada color.

Las muestras de vidrio se apoyaron en un marco dimensionado de elaboración propia, garantizando que las muestras se encuentren de forma vertical y paralelas al lente del objetivo. Las fotografías se realizaron en el mes de Noviembre 2016 dentro del despacho del LiTA, en Sant Cugat del Vallès, en horarios entre 09:00 y 14:00 h.

4.3 Medición Color:

La medición del color se realizó siguiendo las recomendaciones de la Normativa UNE-EN 15886:2010 de Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies. El instrumento utilizado fue un espectrocolorímetro portátil *RM200QC de X-Rite* con los siguientes parámetros: Zona de medición: \varnothing 8 mm; Fuente de luz: 25 LED independientes y tridireccionales; Espacio de Color: CIE $L^* a^* b^*$; Iluminante: D65; Observador: 10° .

Para la medición del color se utilizó una plantilla de elaboración propia de 8x8 cm (Figura 4) dentro de la que se disponen 16 cuadrados de 1x1 cm para ubicar y marcar la cabeza de medición del espectrocolorímetro. De cada muestra se obtuvieron 16 mediciones por cada cara para un total de 32 mediciones por muestra.

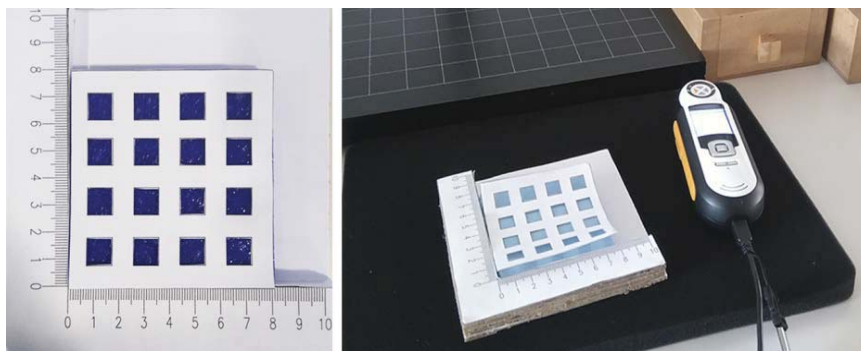


Figura 5. En la izquierda el marco utilizado para hacer las fotografías y la plantilla para hacer las mediciones, en la derecha se muestra un vidrio con la plantilla y el espectrocolorímetro.

4.4 Análisis de las mediciones:

Luego de medir todos los valores con el instrumento se calculan C^* y h^* para cada color, utilizando las fórmulas establecidas en el apartado 9.3 de la Norma UNE-EN 15886:2010, y se obtienen las coordenadas del estándar donde se promedian los valores obtenidos para L^* a^* b^* de la Cara 1 de cada vidrio, éste es el valor que se utilizará para hacer los cálculos de ΔE^*_{94} de ambas caras y que se considera como el valor “ideal” o estándar en base al que se comparan las demás mediciones.

Se obtiene el valor mínimo y máximo de cada uno de las variables L^* a^* b^* C^* h^* ΔE^* y ΔE^*_{94} de la Cara 1 y Cara 2 de cada vidrio y se calcula la desviación típica como medida de dispersión que indica cuanto tienden a alejarse los valores con respecto a la media. Este factor nos indicará cuáles piezas son más homogéneas o cuáles colores son más estables. Para determinar si un vidrio tiene un color adecuado para formar parte de un trencadís con garantías de fidelidad se analizarán los factores únicamente de la Cara 1 (Cara vista).

Para este trabajo se considera un color poco estable aquel que presente una desviación típica $= \geq 0.90$ y un color estable el que presente una desviación típica $= \leq 0.90$. Una vez se hayan obtenido estos datos se contrastan con los promedios de ΔE^*_{94} si la suma de este promedio con la desviación típica es mayor que dos se considera como un color medianamente estable. Ya que la media de puntos de tiende a alejar del estándar. Esto dará como resultado la valoración del vidrio, 3 para los vidrios estables, 2 para los vidrios medianamente estables y 1 para los vidrios poco estables.

4.5 Elaboración de fichas

Para cada color se elaboró una ficha donde se muestra: la fotografía de la muestra de vidrio evaluada con la superposición de los puntos donde se tomaron las mediciones, la especificación de los valores para L^* , a^* b^* C^* y H^* del estándar, el detalle de los valores de ΔE^*_{94} en cada Cara del vidrio así como el promedio y la desviación típica y se ubican las coordenadas de los puntos obtenidos con el instrumento en un plano L^* y a^* b^* . De esta forma se aprecia rápidamente la estabilidad del color y las tendencias de mismo.

La Figura 5 corresponde al vidrio con referencia comercial O 2160 se aprecia que es un color estable y homogéneo, que mantiene el ángulo del tono, pero que varía la saturación o croma del mismo entre una cara y otra. Mientras que en la Figura 6 que corresponde al vidrio con referencia comercial F2740 se aprecia rápidamente la dispersión del color en el vidrio presentando diferencias en el matiz el color pero manteniendo la saturación del color.

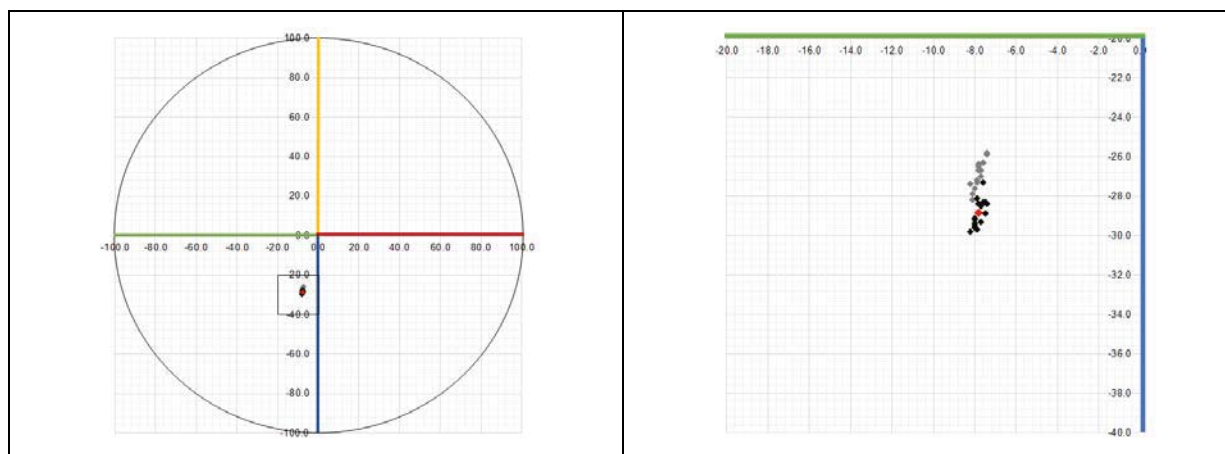


Figura 6. En la izquierda el gráfico de la ubicación de los valores CIE a^* b^* del vidrio con referencia comercial O 2160. En la derecha la ampliación del gráfico. ΔE^*_{94} promedio en Cara 1 de 0,7 con una desviación típica de 0,34 y en Cara 2 ΔE^*_{94} promedio de 1,3 con una desviación típica de 0,27.

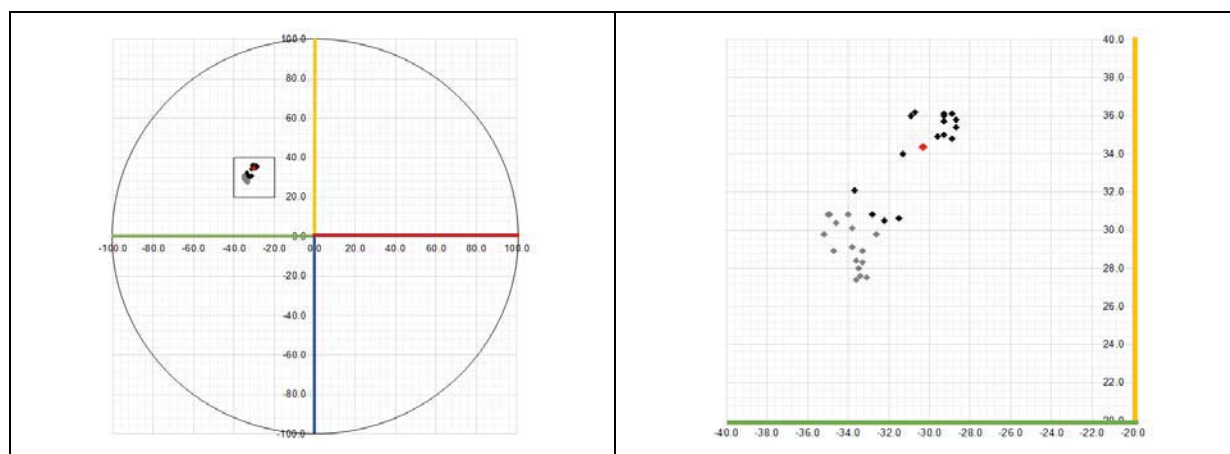


Figura 7. En la izquierda el gráfico de la ubicación de los valores CIE a^* b^* del vidrio con referencia comercial F 2740. En la derecha la ampliación del gráfico. ΔE^*_{94} promedio en Cara 1 de 1,6 con una desviación típica de 0,67 y en Cara 2 ΔE^*_{94} promedio de 8,8 con una desviación típica de 2,64.

5. LISTADO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos, tanto las coordenadas de cada color expresadas en L^* a^* b^* C^* h^* así como el promedio de ΔE^*_{94} de cada Cara del vidrio y su desviación típica. En la columna final se aprecia la valoración de cada vidrio de acuerdo a los parámetros descritos en el capítulo anterior.

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos por cada color donde se especifican las coordenadas del estándar, promedios de diferencia del color (ΔE_{94}) de cada cara, la dispersión de cada cara y la valoración del vidrio.

#	Código	Coordenadas					ΔE_{94}		σ		Valoración
		L*	a*	b*	C*	h*	L1	L2	L1	L2	
1	O 2030	18.2	28.6	-50.0	57.6	299.8	0.5	1.5	0.24	1.27	3
2	O 2040	32.2	25.5	-56.1	61.7	294.4	0.5	1.9	0.32	0.61	3
3	O 2050	42.8	14.5	-50.2	52.3	286.1	0.3	0.9	0.16	0.61	3
4	O 2060	55.5	7.3	-41.7	42.4	280.0	0.5	1.1	0.32	0.56	3
5	O 2120	89.3	-6.0	2.3	6.4	159.1	1.8	1.5	1.12	0.82	1
6	O 2130	82.4	-6.7	-8.3	10.7	231.1	0.8	1.1	0.40	0.31	3
7	O 2140	71.1	-10.9	-15.7	19.2	235.2	0.6	1.1	0.36	0.64	3
8	O 2150	61.7	-10.0	-22.2	24.4	245.9	1.3	2.6	1.10	2.10	1
9	O 2160	49.9	-7.8	-28.9	29.9	254.9	0.7	1.3	0.34	0.27	3
10	O 2200	23.5	-2.2	-32.2	32.3	266.1	0.7	1.2	0.32	0.75	3
11	O 4740	22.8	-19.6	6.3	20.6	162.2	0.7	1.9	0.30	1.31	3
12	S 0980	73.7	-3.0	39.7	39.9	94.4	0.9	2.0	0.50	0.90	3
13	S 3020	65.3	-2.3	33.9	34.0	93.9	0.5	0.9	0.34	0.64	3
14	O 2290	54.8	-15.4	32.5	35.9	115.3	0.4	1.2	0.23	0.32	3
15	O 2360	56.3	4.1	50.3	50.5	85.3	0.5	1.7	0.35	0.45	3
16	O 2320	34.7	-23.3	13.8	27.1	149.4	0.4	0.8	0.26	0.55	3
17	O 2310	44.5	-21.7	22.9	31.5	133.4	0.5	0.5	0.38	0.45	3
18	F 2750	56.4	-33.2	23.4	40.6	144.8	1.1	18.6	0.63	2.69	3
19	F 2740	55.6	-30.3	34.4	45.9	131.4	1.6	8.8	0.67	2.64	2
20	F 2730	70.7	-16.1	65.3	67.3	103.8	0.5	4.1	0.29	1.68	3
21	O 2570	70.0	-7.3	44.9	45.5	99.3	0.5	0.8	0.30	0.36	3
22	O 2550	57.2	-11.8	33.3	35.3	109.5	0.4	0.9	0.34	0.48	3
23	O 2520	35.0	-21.1	12.3	24.4	149.8	0.5	1.5	0.37	0.85	3
24	I 2970	48.2	58.0	72.6	92.9	51.3	0.7	4.1	0.40	1.59	3
25	I 2961	48.3	51.7	73.5	89.9	54.9	0.4	4.0	0.21	0.59	3
26	I 2960	31.9	60.1	24.5	65.5	21.7	4.1	10.4	2.55	2.41	1
27	I 2951	29.7	57.2	19.0	60.3	18.4	1.1	3.0	0.66	1.31	3
28	I 2940	19.8	38.3	17.3	42.0	24.3	0.4	5.0	0.37	1.03	3
29	I 2930	17.1	33.3	12.8	35.7	20.9	0.5	2.8	0.30	0.37	3
30	F 2790	25.8	17.8	10.6	20.7	30.4	1.7	6.0	1.89	1.85	1
31	F 2770	17.0	31.3	12.7	33.7	22.2	0.3	4.4	0.18	0.78	3
32	C 1110	47.9	18.6	43.0	46.9	66.6	0.6	1.7	0.44	0.79	3
33	S 2440	36.2	24.5	38.5	45.6	57.5	1.1	4.2	0.98	1.55	2
34	I 1770	68.4	38.3	23.0	44.7	31.0	1.3	4.5	0.75	1.30	3
35	I 4260	29.1	30.3	24.7	39.1	39.3	0.3	3.4	0.21	0.48	3
36	I 4290	48.2	16.5	70.8	72.7	76.9	3.5	4.1	1.91	1.57	1
37	O 5290	90.6	-8.1	1.8	8.3	167.7	1.4	3.1	0.86	1.20	2
38	F 2610	96.7	-0.3	-0.8	0.9	251.1	0.4	0.4	0.66	0.17	3
39	S 4560	85.1	-1.6	24.1	24.2	93.9	1.3	1.5	0.66	1.17	3
40	I 1720	86.8	7.0	2.6	7.5	20.2	1.2	2.9	0.71	1.05	3
41	S 1390	44.5	13.6	-9.4	16.5	325.5	1.3	7.9	0.75	3.31	2
42	I 1500	65.6	42.6	97.9	106.8	66.5	0.9	1.8	0.56	0.88	3
43	I 1560	85.6	1.7	93.0	93.0	88.9	0.8	6.6	0.59	1.76	3
44	I 2990	62.6	33.2	94.8	100.5	70.7	1.0	3.1	0.56	0.86	3
45	S 2400	67.5	12.3	60.7	61.9	78.5	0.5	0.8	0.32	0.43	3
46	S 2420	67.4	16.8	63.8	66.0	75.2	0.8	1.2	0.38	0.39	3
47	S 2410	86.4	-1.6	63.5	63.5	91.5	0.4	2.5	0.25	0.59	3
48	S 2390	64.5	6.9	49.2	49.7	82.0	0.7	1.1	0.33	0.45	3

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La diferencia entre la Cara 1 (cara vista) y la Cara 2 (cara oculta) es significativa y se debe tomar en consideración en el momento de la puesta en obra, ya que puede alterar la apreciación del vidrio con respecto al color.

En el 52% de los vidrios evaluados el promedio de la diferencia ΔE^*_{94} entre la Cara 1 y la Cara 2 es menor de 2. En el 48% de los vidrios evaluados el promedio de la diferencia ΔE^*_{94} entre el Cara 1 y el Cara 2 es mayor de 2 pudiendo encontrar dos muestras donde se supera el $\Delta E^*_{94} = 10$. Se recomienda siempre utilizar pues la Cara 1.

Se puede apreciar que en la Cara 2 la L^* suele tener valores más elevados, es decir, que la cara tiende a ir más al blanco que la cara vista. Esto puede ser causado por que en la Cara 2 hay más presencias de burbujas propias de los métodos de fabricación del vidrio.

Si se compara por tipo de vidrio, los más estables son los *Smalti* Ordinarios (O) donde el promedio de ΔE^*_{94} es de 0,7 en la Cara 1 y de 1,4 en la Cara 2. Mientras que el vidrio Imperial (I) presenta valores promedio de ΔE^*_{94} de 1,2 en la Cara 1 y de 4,3 en la Cara 2.

Al realizar una clasificación de los resultados por color, el resultado sugiere que los colores más estables son los tonos azules con un promedio de $\Delta E^*_{94} = 0,7$ en la Cara 1 y de 1,5 en la Cara 2 mientras que en los tonos rojos/rosa encontramos un promedio de $\Delta E^*_{94} = 1,2$ en la Cara 1 y de 4,7 en la Cara 2.

7. CONCLUSIONES

Los métodos de colorimetría están muy desarrollados para diferentes industrias (automoción, artes gráficas, etc.), pero la utilización de estos instrumentos de medición del color en materiales conformados de forma artesanal implica su prueba y validación. El principal objetivo del trabajo se consiguió al obtener los valores de cada muestra de color utilizando las coordenadas del CIELCh: ello permitió establecer los estándares de cada color y tener una referencia estable de contraste para la futura adquisición de nuevas piezas de sustitución. No se trata sin embargo de buscar una perfección cromática sino de asegurar que en el momento de hacer la sustitución puntual de algunas piezas se preserve lo más posible la apariencia original del revestimiento de trencadís.

Puesto que algunos colores de vidrio se pueden obtener por distintos procesos de fabricación queda la pregunta abierta en esta primera fase del trabajo, si sería procedente evaluar la estabilidad de un mismo color que proporciona cada proceso de fabricación distinto. Para ello sería necesario hacer un nuevo estudio con una mayor cantidad de muestras comparando tanto el tipo de *Smalti* como los diferentes colores.

La evaluación de los aspectos cromáticos de los materiales de construcción para proyectos de rehabilitación y restauración aporta una visión más amplia de los procesos de selección de los materiales más adecuados permitiendo una evaluación previa y más objetiva de unas cualidades que pueden ser difíciles de valorar a simple vista, como lo es la percepción del color al ojo humano.

Tras la campaña realizada se puede afirmar que el planteamiento de este trabajo de realizar un análisis con aparatos portátiles permite hacer una evaluación correcta del color. Aunque existen equipos de colorimetría más desarrollados y con integración de software para la evaluación inmediata de los datos, las dimensiones de dichos equipos son mayores al equipo que utilizamos en este ensayo, lo cual puede dificultar la obtención de los datos en zonas de difícil acceso o en zonas donde el operario esté a gran altura.

Hay que resaltar, sin embargo, que estos equipos portátiles aún presentan algunas limitaciones como, por ejemplo, la capacidad de la memoria interna que solo es capaz actualmente de almacenar un número reducido de estándares. Otra limitación es que estos equipos miden por comparación por lo que antes de realizar la campaña hay que medir directamente la muestra real que se considera de referencia, es decir, no se pueden introducir los valores CIELCh directamente al equipo. En el caso de campañas extensas ello supondría tener que cargar con varias muestras físicas y parte de la movilidad deseada del proceso se vería reducida.

Para paliar esta limitación se podría elaborar una carta de color personalizada en la que se impriman e identifiquen todos los estándares con los que se comparará; ésto se debe realizar con una impresora calibrada y se debe probar previamente con el espectrofotocolorímetro hasta obtener los valores deseados. Esta carta de color debe ser calibrada cada cierto tiempo para asegurar que los colores no pierdan calidad por el paso del tiempo.

8. REFERENCIAS

- [1] Gómez, J. *Los pináculos de la Sagrada Familia: restauración y obra nueva* (Tesis doctoral) Universitat Politècnica de Catalunya (2015).
- [2] Melgosa, M. ColCara-Montero, F. Fernández, E. Medina, V. *Estudio colorimétrico de los azulejos del Patio de las Doncellas del Real Alcázar de Sevilla (España)*. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 54 (2015) 109–118 (2015)
- [3] Verità, M., James, L., Freestone, I., Henderson, J., Nenna, M.-D., and Schibille, N., *Glossary of Mosaic Glass Terms*, edited by B. Bjornholt (Centre for Byzantine Cultural History, University of Sussex, 2009)
- [4] Verità, M. *Technology and deterioration of vitreous mosaic tesserae*, Studies in Conservation, 45: sup 3, 65-76, DOI: 10.1179/sic.2000.45.s3.007 (2000)
- [5] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) Madrid, España. UNE-EN 15886:2010 *Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies*. (2011)
- [6] X-Rite: *Guía para entender la comunicación del color*. (2002) Recuperado de: http://www.xrite.com/-/media/XRite/Files/Whitepaper_PDFs/L10-001_A_Guide_to_Understanding_Color_Communication/L10-001_Understand_Color_EN.pdf
- [7] Electronics For Imaging Inc. *D Elta E , Delta H , Delta T : What Does It Mean ?* (2008). Recuperado de: http://help.efi.com/fieryxf/KnowledgeBase/color/Delta_E_H_T.pdf